

나노스크래치와 HF 에칭기술을 병용한 Pyrex 7740 의 마스크리스 나노 가공

윤성원*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 이정우*, 강충길**(부산대 기계공학부)

Maskless Nano-fabrication by using both Nanoscratch and HF Wet Etching Technique

S. W. Youn(Precision Mecha. Eng. Dept. PNU), J.W. Lee, C.G. Kang(School of Mecha. Eng., PNU)

ABSTRACT

This study describes a new maskless nano-fabrication technique of Pyrex 7740 glass using the combination of nanomachining by nano-indenter XP and HF wet etching. First, the surface of a Pyrex 7740 glass specimen was machined by using the nano-machining system, which utilizes the mechanism of the nano-indenter XP. Next, the specimen was etched by HF solution. After the etching process, the convex structure or deeper hole is made because of masking or promotion effect of the affected layer generated by nano-machining. On the basis of this interesting fact, some sample structures were fabricated.

Key Words : Nanoscratch(나노스크래치), Masking Effect (식각 마스크 효과), HF etching (HF 식각), Nano-Indenter XP (나노인덴터 XP)

1. 서론

5T 분야에서 나노정밀도의 미소 구조물 제작기술 필요성이 날이 증대됨에 따라 현재까지 꾸준히 발전해 온 반도체 공정기술 즉, 광리소그래피(Optical lithography) 기술을 대체할 수 있는 새로운 가공기술들이 활발히 연구되고 있다^{1,2}. 광리소그래피 공정은 빛의 회절한계에 의해 100 nm 이하 구조물 제작에는 상당한 어려움이 따르기 때문에 주사탐침현미경 (SPM) 즉, 주사터널현미경 (STM), 원자력간 현미경 (AFM), 마찰력 현미경 (FFM) 등을 이용한 극미세 가공 기술들이 다양하게 연구되고 있다^{3,9}. 나노가공에서 초미세 프로브 기반기술이 유용하게 사용되는 이유는 10 nm 이하 정밀도의 구조체의 제작이 가능하고, 공정이 간단하며 초기장비 설치 및 장비가동에 드는 비용이 매우 저렴하기 때문이다⁴. 반면에, 대량생산공정에는 부적합하고 재현성 및 소재 선택에 있어서의 제한이 있다는 단점이 있다. 그러나 초미세 프로브기술을 이용하여 나노임프린트 리소그래피 (Nanoimprint lithography)와 같은 대량생산공정용 스탬프나 볼드를 제작한다면 위와 같은 문제점을 개선시킬 수 있다.

본 연구에서는 나노임프린트 기술에서의 당면과제 중 하나인 스탬프의 대면적화에 의한 생산성(throughput) 향상¹을 위하여 나노인덴터의 스크래치

옵션을 이용하여 파이렉스 7740 시편의 표면 위에 그루브 패턴을 형성시켰다. 나노인덴터를 사용할 경우 AFM 에 비하여 가공가능 영역(수 cm^2)이 넓고, 다이아몬드 팁을 사용하기 때문에 Si 나 Si_3N_4 프로브에 비해 정밀도가 저하하나, 다양한 소재를 가공할 수 있다. 또한, 소재의 나노변형거동을 정량적으로 이해하는 데 중요한 탄성계수, 경도, 마찰계수, 마찰력뿐만 아니라 탄성회복양도 가공과 동시에 측정할 수 있다.

샘플 그루브 패턴의 제작후에는 HF 식각실험을 통하여 기계적 가공에 의해 형성된 가공변질층의 식각 마스크 효과를 조사하였다.

2. 실험

이 실험에 사용된 패터닝 장비는 미국 MTS (Material Testing System)사에서 제작된 Nano Indenter® XP 이며, 다이아몬드 Berkovich 인덴터가 사용되었다. 인덴터 팁끝의 반경은 약 40 nm 정도로 알려져 있다. 패턴 제작과 표면의 관찰은 정상적인 대기 환경하에서 이루어 졌다. 패턴제작공정에 사용된 시편은 0.5 mm 두께의 Pyrex 7740 웨이퍼이며, (1×1) cm 크기로 절단되었다. 절단된 Si (100) 샘플은 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 DI 액에서 세척되었다. 세척 후 AFM 으로 측정된 시편 표면

의 표면조도는 약 $R_a=10\text{nm}$ 였다. 시편의 표면 가공에는 Nanoindenter XP 의 스크래치 옵션을 이용하였으며, 수직하중 및 패턴의 피치를 변화시켜 수행하였다. 표면가공 후 시편은 HF (5, 10 wt.%) 용액에 식각시켜 기계적 가공에 의해서 형성된 가공변질층의 실리콘의 식각 마스크로서의 효과를 조사하였다. 시편 표면의 관찰에는 PSIA 에서 제작된 AFM 장비인 XE-100 이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일정 하중 나노 스크래치(Constant load scratch)에 의한 패턴가공

스크래치 시험시의 수직하중의 변화에 따른 그루브패턴의 깊이 및 폭의 변화를 조사하였다.

Fig. 1 은 $10\ \mu\text{m/s}$ 의 스크래치 속도에서 수직하중의 변화에 따라 가공된 시편의 AFM 사진을 나타내고 있다. 별럼현상이나 결함이 없는 양호한 가공면을 관찰할 수 있다.

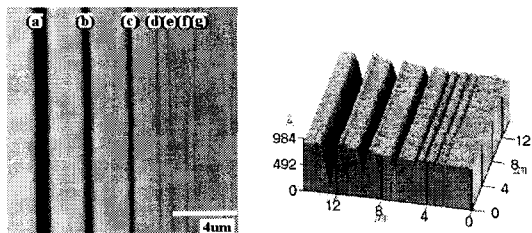


Fig. 1 V-groove1 patterns machined for variation of the normal load (a) 10mN, (b) 5 (c) 3 (d) 1 (e) 0.8 (f) 0.6 (g) 0.4

Fig. 2 와 Fig. 3 은 Fig. 1 시편의 종횡단면을 정량적으로 나타낸 곡선이다.

Fig. 2 는 스크래치 길이-압입깊이 곡선으로, 스크래치 시험 중 실시간으로 얻어지며, 스크래치 후 포스트 프로파일 (post profile)에 의해 가공 중 발생하는 소재의 탄성회복량도 측정 된다.

Fig. 3 은 contact-mode AFM 을 이용하여 그루브의 종단면을 측정된 것이다. 그루브의 폭과 깊이는 스크래치 시험 중 시편에 가해지는 수직하중에 의해 조절되었으며, 수직하중이 5 mN 인 경우를 예로 들면 높이와 폭이 각각 60 nm 와 $1\ \mu\text{m}$ 인 그루브가 가공되었다. 스크래치 실험시의 수직하중을 감소시키면 구조체의 크기를 더 감소시킬 수 있으나, 팁 끝과 시편표면과의 탄성접촉 문제로 의하여 한계가 있을 것으로 사료된다. 현재 가공 가능한 Berkovich 다이아몬드 인덴터의 팁끝은 약 40~100 nm 반경을 가진 구로 되어 있기 때문이다. 이러한 팁끝과 표

면의 탄성접촉현상에 의한 크기효과(Indentation size effect)는 나노인덴테이션 시험에서 압입깊이에 따른 경도 값의 변화로 조사될 수 있다¹⁰.

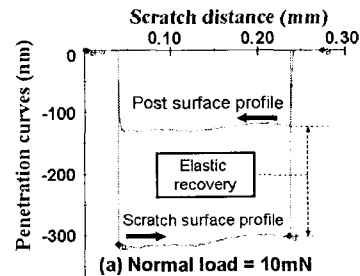


Fig. 2 Sample of horizontal section profile (before and after elastic recovery) that was measured by Nanoindenter XP

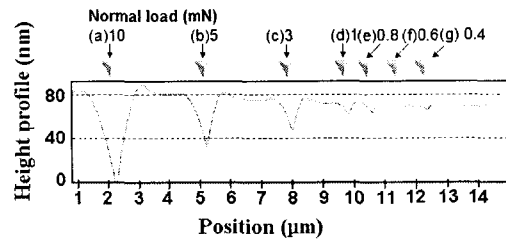
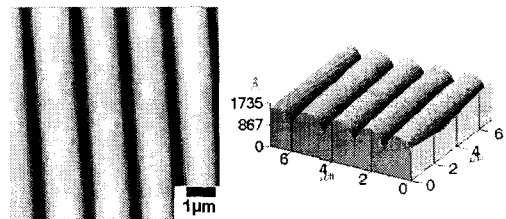
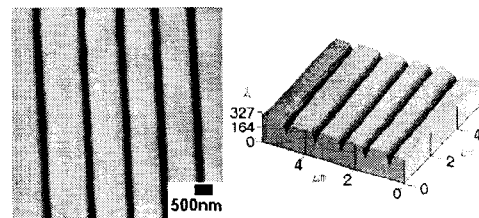


Fig. 3 Vertical section profile of 7 grooves, which were measured by contact mode AFM



(a) V-groove patterns machined under the normal load of 5mN (pattern pitch $1\ \mu\text{m}$)



(b) V-groove patterns machined under the normal load of 5mN (pattern pitch 600nm)

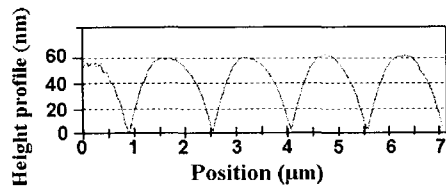
Fig. 4 Samples of V-groove patterns machined by constant load scratch (CLS)

위에서 조사된 수직하중 조건을 참조 하여 샘플

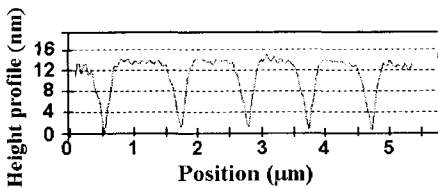
그루브 패턴이 가공되었다. 스크래치 속도는 $10\mu\text{m/s}$ 로 설정되었다.

Fig. 4 는 패턴피치가 패턴에 미치는 영향을 나타내고 있으며, Fig. 6 은 시편의 종단면을 정량적으로 나타내고 있다.

Fig. 4 (a)와 Fig. 5 (a)는 수직하중 조건과 패턴피치가 각각 5 mN 과 $1\mu\text{m}$ 인 시편을 나타내고 있다. 그림으로부터 선폭 및 패턴 피치가 균일함을 알 수 있다. Fig. 4 (b)와 Fig. 5 (a)는 수직하중 조건과 패턴피치가 각각 1 mN 과 600 nm 인 경우인데 기계적 가공시 발생된 파일업 (Piling-up)의 영향에 의해 선폭 및 패턴 피치가 일정치 않음을 알 수 있다. 이는 목적하는 패턴 피치에 따라 수직하중의 크기를 고려해야 함을 나타내고 있다.



(a) Cross section of groove patterns of $1.5\mu\text{m}$ pitch machined under the normal load of 5mN



(b) Cross section of groove patterns of $1\mu\text{m}$ pitch machined under the normal load of 1mN

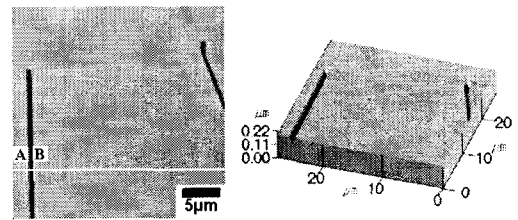
Fig. 5. Section profile of sample groove patterns machined under the different normal load and pitch.

3.2 기계적 가공변질층의 마스크 효과

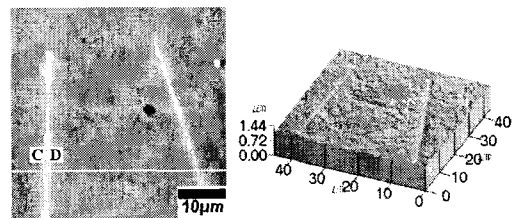
Fig. 6 은 기계적 가공변질층이 식각마스크로써 역할을 충분히 할 수 있는지를 조사하기 위하여 HF 용액을 사용하여 상온에서 식각을 행한 실험결과를 보여주는 AFM 사진이다. Pyrex 7740 의 표면에 스크래치속도 $10\mu\text{m/s}$, 수직하중 5 mN 의 조건에서 2 개의 그루브를 가공한 후 (Fig. 6 (a)), $5\text{ wt.}\%$ HF 용액에서 20 분간 식각 시켰다 (Fig. 6 (b)). Fig. 6 (a)와 Fig. 6 (b)의 사진을 비교해 보면 시편표면의 형상이 역상구조가 되어 있음을 알 수 있다. 식각 전후의 시편 표면의 형상변화는 Fig. 7 에 정량적으로 나타나 있다. 이는 기계적 가공에 의하여 변형된 가공층이 HF 식각에 대한 마스크 역할을 함을 나타내고 있다. 일반적으로 HF 용액은 SiO_2 를 잘 식각시키며 Pyrex 7740 의 약 $80\text{ wt.}\%$ 가 SiO_2 로 구성되어 있

다. 따라서 기계적 가공변질층이 HF 용액에 대한 식각 마스크로써 작용하므로 주위의 SiO_2 가 식각되면서 상대적으로 가공된 표면의 높이가 증가한 것이다.

기계적 가공에 의하여 변형된 가공층의 조성상의 변화도 있을 것으로 판단되나, 자세한 분석은 추후 연구에서 수행하고자 한다.



(a) Grooves machined under the normal load of 5mN



(b) Grooves after $10\text{wt.}\%$ HF etching for 20 minutes

Fig. 6 Shape variation of the machined grooves on Pyrex glass 7740 surface after $5\text{ wt.}\%$ HF wet etching.

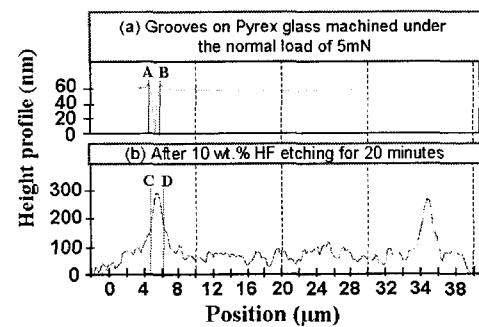
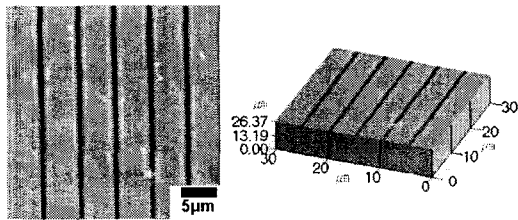
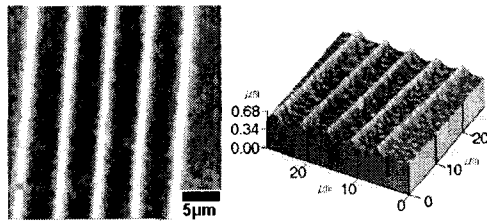


Fig. 7. Section profile change of grooves machined under the normal load of 5mN before and after $5\text{ wt.}\%$ HF wet etching.

수직하중 5 mN , 스크래치 속도 $10\mu\text{m/s}$ 의 조건에서 가공된 Pyrex 7740 시편 (Fig. 8 (a))이 $10\text{ wt.}\%$ HF 용액에서 20 분간 식각 되었다 (Fig. 8 (b)). Fig. 9 의 패턴의 종단면 곡선에서 알 수 있는 바와 같이 폭과 깊이가 각각 $1\mu\text{m}$ 와 60 nm 인 그루브가 식각 후에는 폭과 깊이가 각각 $1\mu\text{m}$ 와 160 nm 인 구조체로 변화하였음을 관찰할 수 있다.



(a) AFM image of groove patterns of 5 μm pitch machined under the normal load condition of 5mN



(b) AFM image of grooves after 10 wt.% HF etching for 20 minutes

Fig. 9 Shape variation of the machined grooves on pyrex glass 7740 surface after 10 wt.% HF wet etching.

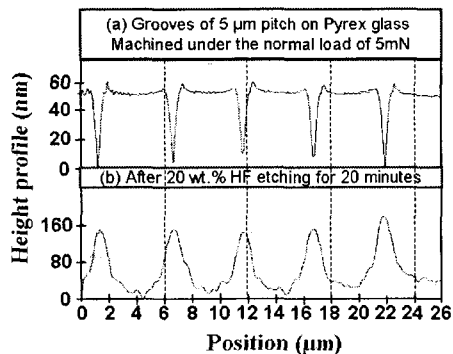


Fig. 10 Section profile change of grooves machined under the normal load of 5mN before and after 10 wt.% HF wet etching.

4. 결론

Nanoindenter® XP 의 스크래치 옵션과 HF 식각 기술을 병용하여 샘플패턴을 제작하였다. 수직하중의 변화에 따른 그루브의 폭 및 높이의 변화를 정량적으로 조사하였으며, 나노스크래치에 의하여 Pyrex 7740 표면에 형성된 가공변질층이 HF 용액에 대한 식각 마스크로써 충분한 역할을 함을 알 수 있었다. 그러나 스크래치에 사용되는 인덴터 팁끝의 곡률(50~100) nm 로 인하여 발생하는 팁끝과 표면의 탄성접촉 문제로 인하여 가공정밀도 측면에서 한계가 있었으며, 추후 연구에서는 에칭에 의한 구

조체의 형상 제어에 관한 연구를 더 자세히 하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국 학술진흥재단에 의한 연구비의 지원으로 이루어 졌음.

참고문헌

1. 정준호, 신영재, 이응숙, 황경현, "나노임프린트 리소그래피 기술동향," 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 3 호, pp.15~22, 2003.
2. Association S.I., "International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)," <http://public.itrs.net/Files/2001ITRS/Home.htm>, 2001.
3. 장원석, 신보성, 황경현, "Nanoprobe 응용기술 동향," 한국정밀공학회지, 제 20 권 제 3 호, pp.5~14, 2003.
4. 허철, 박성주, "수소원자로 passivation 된 Si (100) 표면위에 AFM 을 이용한 나노크기의 패턴형성에 관한 연구," 한국물리학회지, 제 11 권, 3 호, pp. 370~374, 1998.
5. Campell, P.M. and Snow, E.S., "Proximal probe-based fabrication of Nanometer-scale devices," Proc. SPIE-Intl. Soc. Optical Engr., 3975, pp. 943-948, 1999.
6. Lee, H.T., Oh, J.S., Park, S.J., Park, K.H., Ha, J.S., Yoo, H.Y., Koo J.Y., "Nanometer-scale lithography on H-passivated Si (100) by atomic force microscope in air," J. Vac. Sci. Technol. A 15(3), pp. 1451~1454, 1997.
7. Morita, N., "Micro-fabrication technique of single crystal silicon by using combination of nano-scale machining and alkaline etching," J. of the JSGE, Vol. 45, No. 6, pp. 275-278, 2001.
8. Chen, L., Morita, N., and Ashida, K., "Maskless pattern formation which used alkaline etching and nano-scale cutting by using friction force microscope," J. of JSPE 2000, Vol. 66, No. 11, 23~27, 2000.
9. Ashida, K., Morita, N., and Toshida, Y., "Study on nano-machining process using mechanism of a friction microscope," JSME International Journal, Series C 2001, Vol. 44, No. 1, pp. 51~60, 2001.
10. Lu, C.J. and Bogy, D.B., "The effect of tip radius on nano-indentation hardness tests," Int. J. Solids Structures. Vol. 32, No. 12, pp. 1759~1770, 1995.